

УДК 621.316.72

Обзор и перспективы развития исследований, посвящённых коррекции коэффициента мощности/ С. А. Степенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 34–41. – Бібліогр.: 25 назв.

У статті наводиться короткий огляд робіт, присвячених корекції коефіцієнта потужності. Розглянуто тематику досліджень авторитетних зарубіжних вчених, публікації яких представлені в електронній бібліотеці IEEE Xplore. Проаналізовано напрямки досліджень за темою корекції коефіцієнта потужності, за якими останнім часом були захищені дисертації вітчизняними вченими. На основі проведеного огляду сформульовані перспективи подальших досліджень по темі корекції коефіцієнта потужності.

Ключові слова: енергоефективність, корекція коефіцієнта потужності.

The brief overview of the works, devoted to a power factor correction, is provided in this article. The topics of the investigations of competent foreign scientists, which publications are presented in the digital library IEEE Xplore, have been considered. The trends of the researches on a power factor correction, by which have been recently defended the theses of domestic scientists, have been analyzed. The prospects of the further studies on a power factor correction have been formulated based on the provided overview.

Keywords: energy efficiency, power factor correction.

УДК 621.314

Д. В. КУЧЕРЕНКО, студент, ДонГТУ, Алчевск;

П. С. САФРОНОВ, канд. техн. наук, доц. ДонГТУ, Алчевск

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА

Выполнено исследование работы параллельного активного фильтра высших гармоник тока. Рассмотрена работа активного фильтра гармоник на нелинейную нагрузку, представленную в виде диодного выпрямителя с RLC-нагрузкой. Приведены временные диаграммы тока нагрузки, корректирующего тока и суммарного тока, выполнен спектральный анализ тока нелинейной нагрузки и скомпенсированного тока.

Ключевые слова: активный фильтр, гармоники тока, нелинейная нагрузка, моделирование, коэффициент гармоник.

Введение

Стремительное развитие силовой электроники привело к появлению большого количества нелинейных нагрузок, которые потребляют несинусоидальный ток из питающей сети, а также генерируют гармоники высших порядков. В большей части, такого рода нагрузку представляют собой полупроводниковые преобразователи, например: силовые диодные выпрямители, преобразователи частоты, циклоконвертеры и прочие.

Реактивная мощность и мощность искажений, протекая по элементам электрической сети, обладающим активным сопротивлением, вызывают в них дополнительные потери электрической энергии. Кроме того, реактивная мощность и мощность искажений снижают пропускную способность линий электропередач и

трансформаторов, вызывают их нагрев, вынуждают увеличивать сечение проводов, выполнять прокладку дополнительных кабельных линий, замену трансформаторов на большую номинальную мощность [1].

Специфика преобразовательных устройств силовой электроники, выполняемых на полупроводниковых управляемых вентилях, связана с ключевым (дискретным) характером работы вентилях, что предопределяет дискретизацию как процесса потребления энергии преобразователем от ее первичного источника, так и процесса передачи ее потребителю (нагрузке). Дискретное потребление энергии преобразователем от источника электроэнергии приводит к заметному обратному влиянию вентильного преобразователя на качество генерируемой электроэнергии [2].

В вопросах качества электроэнергии будет верно рассматривать не только влияние питающей сети на её потребителя, но и все составляющие взаимовлияния системы питания и системы потребления энергии, следовательно, необходимо учитывать также влияние потребителей электрической энергии на сеть. Современные требования, предъявляемые к качеству электроэнергии, изложены в международном стандарте качества электроэнергии IEEE 519–1992. В данном стандарте описаны ограничения не только гармонического состава напряжения питания, а также гармонического состава потребляемого тока.

Анализ последних исследований и литературы

Вопросом улучшения качества электроэнергии путем применения активных фильтров занимаются ведущие ученые разных стран: António P. Martins (Institute of Systems and Robotics, Porto), Paolo Tenti, Paolo Mattavelli, Elisabetta Tedeschi (University of Padova, Italy), проф. Ю. М. Кулинич (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия) и другие ученые Украины и зарубежья [3 – 5]. В настоящее время проблема повышения электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей с сетью питания не утратила своей актуальности и имеет перспективы развития в плане синтеза новых топологических решений, способов и алгоритмов управления активными фильтрами.

Цель и постановка задачи. В свете вышесказанного возникает острая необходимость в устранении негативного влияния нелинейных нагрузок на источник питания. Традиционные методы компенсации, которые основываются лишь на использовании пассивных фильтров и компенсаторов реактивной мощности либо на использовании конденсаторных батарей, не удовлетворяют современным требованиям, а также могут вызывать дальнейшее распространение гармоник, например, из-за возникновения процесса резонанса между индуктивностью токоведущих линий и параллельными конденсаторами компенсатора. Целью данной работы является исследование возможностей компенсации высших гармоник тока нелинейной нагрузки с помощью активного фильтра.

Материалы исследований

Существуют последовательная, параллельная и смешанная (гибридная) топологии подключения активных фильтров, принципиально же различают два типа:

- параллельный активный фильтр;
- последовательный активный фильтр.

Последовательный фильтр, по сути, является управляемым генератором напряжения и служит эффективным решением для компенсации провалов, фликера, несимметрии и гармонических составляющих в напряжении сети. Однако, он

имеет некоторые недостатки. Рассчитанный на полный ток нагрузки, последовательный активный фильтр имеет высокую мощность и, соответственно, стоимость. Кроме того, не может прямо исправлять токи нагрузки, подключенной за ним, влияя на них только посредством изменения напряжения. Существенным преимуществом последовательного активного фильтра является исправление искаженной формы напряжения независимо от природы возникновения искажений.

В отличие от последовательного активного фильтра, параметры параллельных фильтров должны быть подобраны только для величин высших гармоник токов, возникающих из-за нелинейности нагрузки. Еще одним преимуществом параллельного активного фильтра является принцип регулирования с коррекцией тока (активный фильтр представляется как регулируемый источник тока), в связи с этим происходит улучшение напряжения питания остальных потребителей. Суммарные гармонические искажения по току всегда выше, чем по напряжению. Поэтому будет логичным быстрее устранить первопричину. Для последовательного же фильтра в этом случае подходит задача уменьшения воздействия от внешних возмущений из сети, прежде всего не по току, а по напряжению. Таким образом, место применения параллельного фильтра – ближе к нелинейной нагрузке.

На рис. 1 приведена имитационная модель параллельного активного фильтра и нелинейной нагрузки, подключенных к общему источнику питания. Имитационная модель была построена в программной среде PSIM 9.

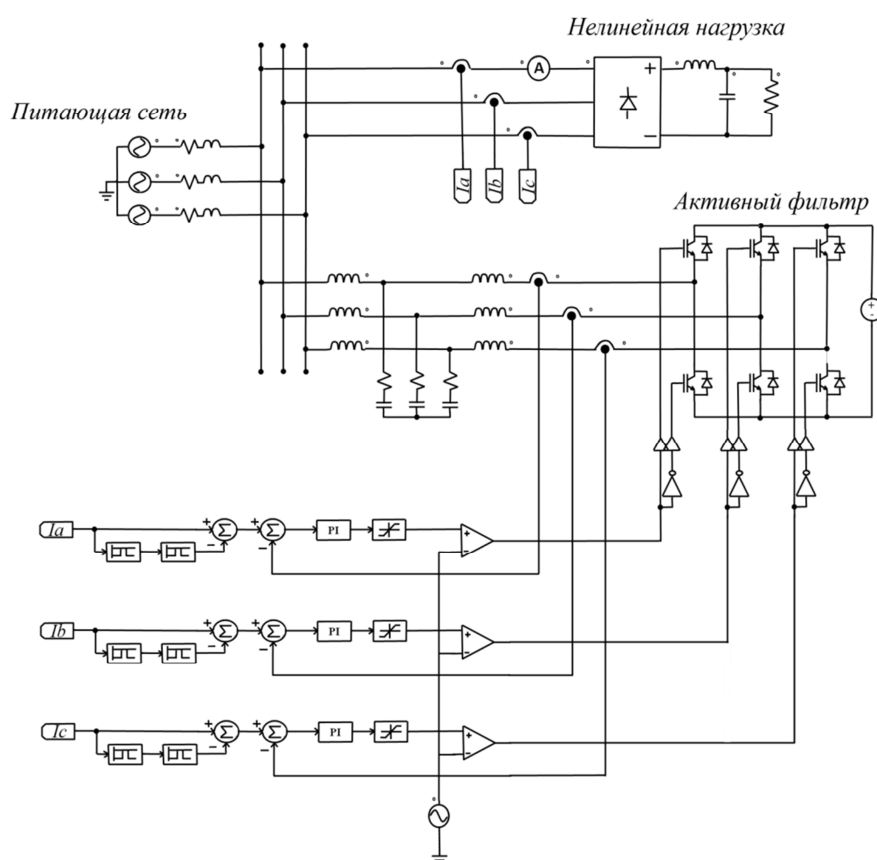


Рис. 1 – Имитационная модель параллельного активного фильтра

Общим в построении фильтров является принцип регулирования по отклонению от заданной величины, они включают в себя датчики измеренных сигналов и блоки формирования опорных сигналов по напряжению или току – по типу фильтра, соот-

ветственно. Следовательно, фильтры должны обладать значительным быстродействием (0,02 – 0,5 мс) и временем отклика 0,2 – 2 мс для сетей 50 Гц. Поэтому в качестве регулирующего элемента применяют IGBT-транзисторы. Используется также принцип ШИМ регулирования (регулирование с использованием широтно-импульсной модуляции сигнала). В современных условиях, учитывая статистику нечастых сбоев на центральных генерирующих мощностях, в передающих сетях, представляется более интересной задача влияния нелинейных потребителей на собственную распределительную сеть. Если в сети присутствуют гармоники тока из-за наличия нелинейных нагрузок, наилучшим и универсальным способом повышения качества электропитания является установка параллельного активного фильтра.

В качестве нелинейной нагрузки используется трехфазный мостовой выпрямитель с RLC-нагрузкой, которая используется во многих схемах полупроводниковых преобразователей. Трехфазный активный фильтр гармоник выполнен на основе IGBT-транзисторов с включенными встречно параллельно диодами, которые обеспечивают протекание тока в обратном направлении относительно IGBT-транзисторов. Для обеспечения правильного функционирования активного фильтра гармоник, в каждую фазу встроен датчик тока. Сигналы с датчиков передаются в систему управления, где происходит обработка данных и формирование сигналов задания, которые равны сумме реактивной составляющей и высших гармоник тока, создаваемого нагрузкой. Далее система управления вычисляет сигнал задания по значению неактивного тока, чтобы активный фильтр гармоник сформировал корректирующий ток. Активный фильтр скомпенсирует все реактивные составляющие: гармоники, асимметрию и запаздывание фаз. Суммарный ток, который состоит из тока нагрузки и корректирующего тока, созданного фильтром, будет иметь форму приближенную к синусоидальной, следовательно, из сети будет потребляться ток практически синусоидальной формы.

Результаты исследований

На рис. 2 представлены временные диаграммы работы параллельного активного фильтра с нелинейной нагрузкой на примере одной из фаз. В остальных фазах токи будут иметь аналогичную форму, а отличие будет заключаться только в фазовом сдвиге на угол 120 эл. град. Как видно из временных диаграмм, благодаря работе параллельного активного фильтра высших гармоник наблюдается значительное улучшение формы тока, потребляемого нелинейной нагрузкой (см. рис. 2, б).

На рис. 3 приведены спектральные составы тока нелинейной нагрузки (входной ток трехфазного мостового выпрямителя) и тока, потребляемого из сети, форма которого скорректирована с помощью параллельного активного фильтра. В спектральном составе скорректированного тока практически отсутствуют искажающие высшие гармонические составляющие. Использование параллельного активного фильтра привело к снижению суммарного коэффициента гармоник тока THD(I) с 24,6% до 4,1%, что соответствует современным требованиям к электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей с промышленной сетью.

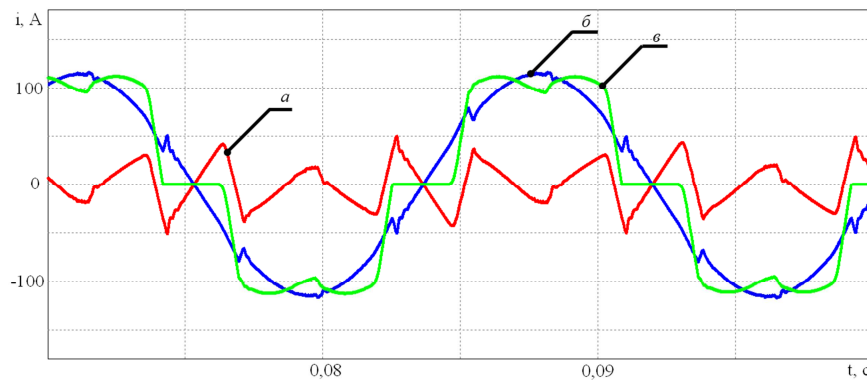


Рис. 2 – Диаграммы работы параллельного активного фильтра с нелинейной нагрузкой: *а* - корректирующий ток; *б* - суммарный ток, *в* - ток на входе выпрямителя.

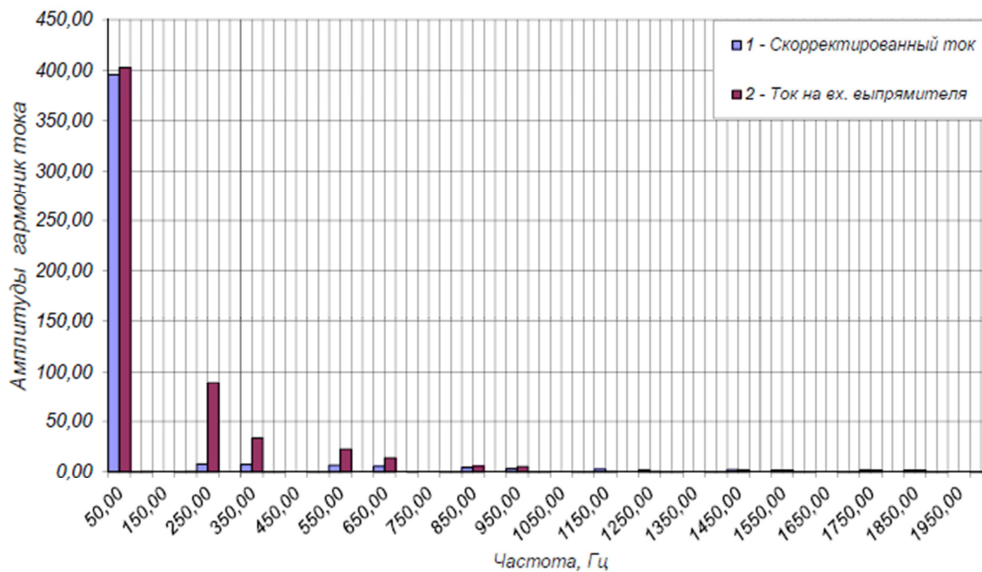


Рис. 3 – Спектральный состав токов

Выводы

- последовательный активный фильтр позволяет исправлять искаженную форму напряжения питания независимо от природы возникновения этих искажений, но не может прямо исправлять токи нагрузки, подключенной за ним, влияя на них только посредством изменения напряжения;
- параллельный активный фильтр является наилучшим средством повышения качества электропитания при наличии в сети искажающих гармоник тока, вызванных нелинейными нагрузками;
- использование параллельного активного фильтра позволяет снизить суммарный коэффициент гармоник тока до уровня, который удовлетворяет современным требованиям к электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей с промышленной сетью.

Список литературы: 1. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов: ЧГТУ, 2005. – 341 с. 2. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск: НГТУ, 2001. – 174 с. 3. Martins A. P. The Use of an Active Power Filter for Harmonic Elimination, and Power Quality Improvement in a Nonlinear Loaded Electrical Installation / A. P. Martins // Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality, ICREPQ'03. – Vigo, 2003. – pp.1-6. 4. Tenti P. Compensation Techniques Based on Reactive Power Conservation / P. Tenti, P. Mattavelli, E. Tedeschi // Electrical Power Quali-

ty and Utilisation, Journal. – 2007. – Vol. XIII, No. 1 – pp. 17-24. 5. Кулинич Ю. М. Активный компенсатор реактивной мощности как средство улучшения качества потребляемой энергии / Ю. М. Кулинич, В. К. Духовников // Наука и транспорт. – 2010. – № 3(28). – С. 38-40.

Надійшла до редколегії 01.03.2013

УДК 621.314

Параллельный активный фильтр высших гармоник тока / Д. В. Кучеренко, П. С. Сафронов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 18 (991). – С. 41–46. – Бібліогр.: 5 назв.

Виконано дослідження роботи паралельного активного фільтру вищих гармонік струму. Розглянута робота активного фільтру гармонік на нелінійне навантаження, що представлене у вигляді діодного випрямляча з RLC-навантаженням. Наведені часові діаграми струму навантаження, коригуючого струму і сумарного струму, виконано спектральний аналіз струму нелінійного навантаження та скомпенсованого струму.

Ключові слова: активний фільтр, гармоніки струму, нелінійне навантаження, моделювання, коефіцієнт гармонік.

The research of the parallel active filter of current harmonics is carried out. The operation of the active harmonic filter for non-linear load, which is presented in the form of a diode rectifier with RLC-load, is examined. The diagrams of the load current, correcting current and the total current are given. The results of spectrum analysis of the non-linear load current and the compensated current are presented.

Keywords: active filter, current harmonics, nonlinear load, simulation, total harmonic distortion.

УДК 621.314.26

А. А. ШАВЁЛКИН, д-р техн. наук, проф. ДонНТУ, Донецьк;

А. В. ХАНИН, студент, ДонНТУ, Донецьк

МНОГОУРОВНЕВЫЙ КАСКАДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С СИЛОВЫМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ АКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ

Рассмотрена схема многоуровневого каскадного преобразователя частоты, каждая фаза которого содержит четыре однофазных инвертора напряжения при кратности напряжений их источников 3:3:3:1. При этом инвертора с большим напряжением обрабатывают заданное напряжение с использованием многоуровневой широтно-импульсной модуляции, а инвертор с минимальным напряжением используется как силовой последовательный активный фильтр, обрабатывая напряжение ошибки.

Ключевые слова: многоуровневый преобразователь частоты, силовой активный фильтр, автономный инвертор напряжения, многоуровневая широтно-импульсная модуляция, гармонический состав, коэффициент гармоник.

Введение

Для высоковольтного электропривода переменного тока (6-10 кВ) эффективным признано применение каскадных многоуровневых преобразователей частоты (КМПЧ), типа «Perfect Harmony», которые при выходном напряжении 6 кВ имеют